

EKOLOGIK MONITORINGDA SUN'IY INTELLEKTNING SAMARALI ALGORITMLARI

Negmatov Ulug'bek¹, Isomaddinov Usmonali², Xasanov Murodjon³, Tursunov Ibrohimjon³

¹ PhD, Namangan Davlat Texnika Universiteti.

² Katta o'qituvchi, Namangan Davlat Texnika Universiteti.

³ Talaba, Namangan Davlat Texnika Universiteti.

E-mail: aflotun.team+murodjon19955@gmail.com

DOI: 10.61587/mmit.tiue.uz.v1i1.321

Annotatsiya. Ushbu maqolada ekologik monitoring jarayonida sun'iy intellekt algoritmlaridan foydalanishning nazariy va amaliy jihatlari tahlil qilinadi. Raqamlashtirish sharoitida an'anaviy kuzatuv usullarining yuqori qiymati, uzoq davom etishi va nisbatan past aniqligi sababli ekologik ma'lumotlarni tezkor va ishonchli qayta ishlashga bo'lgan ehtiyoj ortib bormoqda. Mualliflar sun'iy intellekt yordamida suv, havo, tuproq va tabiiy xavf-xatarlarni kuzatish, shuningdek, ifloslantiruvchi moddalar konsentratsiyasini aniqlash mumkinligini ko'rsatadi. Tadqiqotda SVM, SVR, qarorlar daraxti, tasodifiy o'rmonlar, RNN, CNN hamda gibridd modellar solishtirilib, ularning kuchli va zaif tomonlari baholanadi. Shuningdek, ma'lumot sifati, hisoblash resurslari, model izohlanishi, xavfsizlik, umumlashtirish qobiliyati va energiya sarfi bilan bog'liq muammolar ochib beriladi. Xulosa sifatida, ekologik monitoringda samarali sun'iy intellekt yechimlari faqat texnik yutuq emas, balki ekologik barqarorlikni ta'minlashga xizmat qiluvchi kompleks boshqaruv vositasi sifatida qaralishi lozimligi ta'kidlanadi.

Kalit so'zlar: sun'iy intellekt, ekologik monitoring, raqamli iqtisodiyot, mashinaviy o'rganish, ekologik xavfsizlik, gibridd modellar.

EFFECTIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE ALGORITHMS IN ENVIRONMENTAL MONITORING

Negmatov Ulug'bek¹, Isomaddinov Usmonali², Xasanov Murodjon³, Tursunov Ibrohimjon³

¹ PhD, Namangan State Technical University.

² Senior Lecturer, Namangan State Technical University.

³ Student, Namangan State Technical University.

E-mail: aflotun.team+murodjon19955@gmail.com

Abstract. This article analyzes the theoretical and practical aspects of using artificial intelligence algorithms in environmental monitoring. Under digitalization, the high cost, long duration, and relatively low accuracy of traditional observation methods increase the need for rapid and reliable processing of environmental data. The authors show that artificial intelligence can be used to monitor water, air, soil, and natural hazards, as well as to determine pollutant concentrations. The study compares SVM, SVR, decision trees, random forests, RNN, CNN, and hybrid models and evaluates their strengths and weaknesses. It also identifies challenges related to data quality, computing resources, model interpretability, security, generalization capability, and energy consumption. The article concludes that effective artificial intelligence solutions in environmental monitoring should be regarded not only as a technical achievement but also as a comprehensive management tool that contributes to environmental sustainability.

Keywords: artificial intelligence, environmental monitoring, digital economy, machine learning, environmental safety, hybrid models.

Kirish

Raqamlashtirish jarayoni jahon iqtisodiyotining barcha sohalarini tubdan o'zgartirmoqda. Internetga ulangan qurilmalar, bulutli xizmatlar, mobil ilovalar, katta

ma'lumotlar va avtomatlashtirilgan tahlil vositalari odamlar, korxonalar va davlatlar o'rtasidagi o'zaro aloqalarni yangi bosqichga olib chiqdi. Natijada savdo, xizmat ko'rsatish, moliya, logistika va davlat boshqaruvi kabi yo'nalishlar tezkor qaror qabul qilish, masofadan turib ishlash va real vaqt rejimida ma'lumot almashish imkoniyatiga ega bo'ldi. Ayniqsa, sun'iy intellekt raqamli iqtisodiyotning eng muhim texnologiyalaridan biri sifatida ajralib chiqdi.

Ekologik monitoring ham bu jarayondan mustasno emas. Atrof-muhit holatini muntazam kuzatish, ifloslanish darajasini aniqlash, tabiiy resurslar holatini baholash va ehtimoliy xavflarni bashorat qilish zamonaviy davlatlar uchun strategik ahamiyatga ega. An'anaviy usullar – statistik kuzatuv, laboratoriya tahlili va qo'lda namuna olish – ko'p vaqt talab qiladi, qimmatga tushadi va ko'pincha xatolarga moyil bo'ladi. Shu sababli, ekologik boshqaruvda tezkor, moslashuvchan va ma'lumotga asoslangan yondashuvlarga o'tish zarurati tug'ildi.

Sun'iy intellekt ushbu ehtiyojni qondirishda muhim vosita bo'lib xizmat qiladi. U katta hajmdagi ma'lumotlarni qayta ishlash, yashirin bog'lanishlarni topish, naqshlarni aniqlash va aniq prognozlar tuzishda samarali. AI asosidagi modellar suv sifati, havo sifati, tuproq holati, o'rmon yong'inlari, ekologik falokatlar va boshqa ko'plab jarayonlarni kuzatishda qo'llanishi mumkin. Shu bilan birga, raqamli infratuzilmaning rivojlanishi ekologik ma'lumotlarning yig'ilishi va uzatilishini tezlashtiradi, bu esa boshqaruv qarorlarini aniqroq qilishga yordam beradi.

Shu nuqtai nazardan, mazkur maqolaning maqsadi ekologik monitoringda ishlatiladigan sun'iy intellekt algoritmlarini tizimli ravishda ko'rib chiqish, ularning qo'llanish sohalarini aniqlash va afzallik hamda cheklovlarini tahlil qilishdan iboratdir.

Adabiyotlar tahlili va metodlar

Ushbu ishda adabiyotlarni tahlil qilish va qiyosiy umumlashtirish usuli qo'llanildi. Mualliflar ekologik monitoring, mashinaviy o'rganish, masofaviy kuzatuv, aqlli sensor tizimlar va sun'iy intellekt asosidagi bashoratlash bo'yicha mavjud tadqiqotlarni ko'rib chiqadi. Tahlil jarayonida model tanlash mezonlari – ma'lumotlarning mavjudligi va dolzarbligi, hisoblash resurslari, mutaxassislik darajasi, modelning izohlanishi, xatolarga chidamliligi va amaliy qo'llanish imkoniyati – asosiy baholash omillari sifatida belgilandi.

Adabiyotlarni o'rganish natijalari shuni ko'rsatadiki, ekologik monitoring uchun sun'iy intellekt modellari bir xil emas va ular vazifaga qarab turlicha samaradorlikka ega. Masalan, SVM (Support Vector Machine) katta hajmdagi ma'lumotlar bilan ishlashda hamda murakkab bog'lanishlarni ajratishda foydali. U tasvir va matn kabi turli ma'lumotlar bilan ishlay oladi. Ekologik sohada bu usul o'rmonlarning kesilishini aniqlash yoki yovvoyi tabiat obyektlarini tasniflashda samarali ekanligi qayd etiladi [4]. SVR (Support Vector Regression) esa regressiya masalalarida, xususan, ekologik ko'rsatkichlarni bashorat qilishda qo'llanadi [5].

Qarorlar daraxti nisbatan sodda va tushunarli model bo'lib, uni o'qitish va talqin qilish oson. Biroq u shovqinli ma'lumotlarda ortiqcha o'qitish muammosiga duch kelishi mumkin. Bu model havo sifati, suv sifati yoki o'rmonlarning holatini monitoring qilishda foydali bo'lsa-da, murakkab tasvir va matn tahlilida har doim ham eng yaxshi natija bermaydi. Tasodifiy o'rmonlar esa ko'plab qarorlar daraxtini birlashtirish orqali yanada barqaror va ishonchli natijalar beradi. Ular tasniflash, vaqt qatorlarini tahlil qilish va masofaviy kuzatuv ma'lumotlarini qayta ishlashda keng qo'llanadi [6].

RNN (Recurrent Neural Networks) ketma-ket ma'lumotlar bilan ishlash uchun qulay bo'lib, vaqt qatorlari, nutq va matn kabi ma'lumotlarda uzoq muddatli bog'lanishlarni aniqlashi mumkin. Shu sababli u ekstremal ob-havo hodisalarini bashorat qilish yoki ekologik hujjatlardan axborot ajratib olishda foydalidir. CNN (Convolutional Neural Networks) esa fazoviy tuzilishga ega ma'lumotlar, ayniqsa tasvirlar uchun mos keladi. Bu model

o'rmonlarning kesilishini aniqlash, dengizdagi neft ifloslanishini kuzatish va ekologik tasvirlarni tasniflashda samarali [7; 8].

Gibrid modellar esa mashinaviy o'rganish va chuqur o'rganishning eng yaxshi jihatlarini birlashtiradi. Ular turli parametrlar o'rtasidagi murakkab noxiziq bog'lanishlarni qayta ishlashda yuqori aniqlik ko'rsatadi. Shu bois ekologik monitoringda xatolik narxi juda yuqori bo'lgan holatlarda aynan gibrid yondashuvlar maqsadga muvofiq hisoblanadi.

Metodik jihatdan ushbu maqola qiyosiy tahlilga asoslanadi: har bir model uning vazifasi, kirish ma'lumotlari, hisoblash sarfi, izohlanishi va ekologik monitoring uchun amaliy yaroqliligi bo'yicha solishtirildi. Shu bilan birga, sun'iy intellektning ekologik barqarorlikka ta'siri ham alohida ko'rib chiqildi.

Jadval 1. Ekologik monitoringda qo'llaniladigan asosiy AI modellari

Model	Asosiy vazifa	Afzalliklari	Cheklovlari
SVM/SVR	Tasniflash va regressiya	Aniq natija, murakkab bog'lanishlarni ajratish	Hisoblash resurslari talabi yuqori bo'lishi mumkin
Qarorlar daraxti	Qoidalar asosida qaror	Sodda, talqin qilish oson	Ortiqcha o'qitishga moyil
Tasodifiy o'rmon	Barqaror tasnif va bashorat	Ishonchli, ko'p modelni birlashtiradi	Xotira va hisoblash sarfi katta
RNN	Ketma-ket ma'lumot tahlili	Uzoq bog'lanishlarni ushlaydi	O'qitish qiyin, gradient muammosi bor
CNN	Tasvir tahlili	Tasvirdagi naqshlarni yaxshi o'rganadi	Katta ma'lumot va quvvat talab qiladi
Gibrid modellar	Murakkab tahlil	Aniq va moslashuvchan	Murakkab, izohlash qiyin

Muhokama

Ekologik monitoringda sun'iy intellektidan foydalanish, bir tomondan, kuzatuv jarayonlarini tezlashtiradi, boshqa tomondan esa yangi xavflarni yuzaga chiqaradi. Eng muhim muammolardan biri – ma'lumot sifati. Agar tizim noto'g'ri, to'liq bo'lmagan yoki bir tomonlama ma'lumotlar bilan o'qitilsa, u noto'g'ri xulosalar berishi mumkin. Masalan, faqat shahar hududlari bo'yicha o'qitilgan havo sifati modeli qishloq hududida ishonchli ishlamasligi ehtimol.

Ikkinchi muammo – resurs sarfi. Murakkab AI modellarini o'qitish va ishlatish katta hisoblash quvvatini talab etadi. Bu esa kichik tashkilotlar yoki rivojlanayotgan mamlakatlar uchun jiddiy to'siq bo'lishi mumkin. Shu sababli ekologik monitoringda AI joriy etish nafaqat algoritm tanlash, balki infratuzilma, elektr ta'minoti, serverlar, ma'lumot uzatish kanallari va texnik xizmatni ham hisobga olishni talab qiladi.

Uchinchi muammo – modelning izohlanishi. Chuqur o'rganish tizimlari ko'pincha «qora quti» sifatida tasvirlanadi, chunki foydalanuvchi model qanday qilib muayyan qarorga kelganini to'liq tushunmaydi. Ekologik boshqaruvda esa tushuntiriladigan modelga ehtiyoj juda yuqori: qarorlar ilmiy asoslangan bo'lishi, tekshirilishi va kerak bo'lganda qayta ko'rib chiqilishi kerak. Shu ma'noda qarorlar daraxti kabi talqin qilinadigan modellar ba'zi vaziyatlarda amaliy jihatdan muhim afzallikka ega.

To'rtinchi muammo – xavfsizlik. Sun'iy intellekt tizimlari kichik, lekin ataylab kiritilgan o'zgarishlardan chalg'ishi mumkin. Bu holat adversarial hujumlar deb yuritiladi. Ekologik monitoringda bunday manipulyatsiya havo sifati, suv sifati yoki energiya taqsimoti haqidagi noto'g'ri qarorlarga olib kelishi mumkin. Shuningdek, tizimdagi ma'lumotlar, sensorlar va uzatish kanallari himoyasi yetarli bo'lmasa, modelning ishonchliligi pasayadi [11].

Beshinchi muhim masala – umumlashtirish qobiliyati. Model faqat bitta hudud yoki bitta mavsum ma'lumotida yaxshi ishlasa, ammo boshqa sharoitda xato qilsa, uning amaliy qiymati cheklangan bo'ladi. Shu sababli AI modellari yangi, ko'rilmagan ma'lumotlarga moslashishga qodir bo'lishi kerak. Bu jihatdan umumlashtirish va ortiqcha o'qitishni kamaytirish o'rtasida muvozanat saqlash muhimdir [12; 13].

Yana bir muhim jihat – ekologik samaradorlikning o'zi. AI ko'pincha ekologiya uchun yechim sifatida ko'riladi, ammo uning ishlashi uchun sarflanadigan energiya ham atrof-muhitga ta'sir qiladi. Ma'lumot markazlari, serverlar va o'quv jarayonlari ko'p elektr energiyasi talab

qiladi, bu esa uglerod izini oshirishi mumkin. Demak, ekologik monitoring uchun yaratiladigan AI yechimlari o'zlari ham resurs tejankor va barqaror bo'lishi lozim [15; 16].

Shu tarzda muhokama shuni ko'rsatadiki, AI ekologik monitoringda katta imkoniyatlar yaratadi, ammo bu imkoniyatlar xavf va cheklovlar bilan birga keladi. Samarali natijaga erishish uchun model tanlash, ma'lumot sifati, xavfsizlik, izohlanish va energiya samaradorligi bir butun tizim sifatida boshqarilishi kerak.

Amaliy nuqtai nazardan qaraganda, ekologik monitoring tizimida ma'lumot oqimi sensor, dron, sun'iy yo'ldosh tasvirlari, laboratoriya bazalari va ommaviy ma'lumotlar portallaridan keladi. Ushbu ma'lumotlarning barchasi bir xil formatda bo'lmagani uchun, ularga oldindan ishlov berish, filtrlash va standartlashtirish talab qilinadi. Bu jarayonlarda AI nafaqat yakuniy bashorat beruvchi, balki ma'lumotlarni tozalovchi va uyg'unlashtiruvchi vosita sifatida ham ishlaydi. Aynan shu bosqichda GIS, masofaviy zondlash va bulutli hisoblash bilan integratsiya muhim o'rin tutadi.

Bundan tashqari, hududiy sharoitlar ham muhimdir. Tog'li hududlar, sanoat rayonlari, qishloq joylari va qirg'oqbo'yi hududlarida ifloslanish tarkibi ham, tabiiy jarayonlar ham turlicha bo'ladi. Shuning uchun bir hududda yaxshi ishlaydigan model boshqa hududga ko'chirib qo'yilganda qayta moslashtirilishi zarur. Transfer o'rganish, qayta o'qitish va lokal kalibrlash shunga xizmat qiladi.

Natijalar

Tahlil natijalariga ko'ra, sun'iy intellekt ekologik monitoringni bir necha muhim yo'nalishda yaxshilaydi. Birinchidan, u katta hajmdagi ma'lumotlarni tez qayta ishlash orqali kuzatuvning aniqligini oshiradi. Ikkinchidan, u havo, suv va tuproq sifatini uzluksiz kuzatish imkonini beradi. Uchinchidan, u o'rmon yong'inlari, suv ifloslanishi, qurg'oqchilik va boshqa tabiiy xavflarni oldindan bashorat qilishga yordam beradi.

Adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatdiki, SVM va SVR katta hajmdagi ma'lumotlar bilan ishlashda samarali bo'lib, ekologik bashoratlash vazifalarida foydali natija beradi [4; 5]. Qarorlar daraxti oddiy holatlarda tushunarli qoidalar yaratadi, lekin murakkab va shovqinli ma'lumotlarda barqarorligi pastroq bo'lishi mumkin. Tasodifiy o'rmonlar esa turli model natijalarini birlashtirgani uchun ishonchliroq hisoblanadi. RNN vaqtga bog'liq ekologik jarayonlarni – masalan, ob-havo o'zgarishini – tahlil qilishda qulay, CNN esa tasvir va fazoviy ma'lumotlar uchun juda mos [6; 7; 8].

Gibrid modellar esa bir nechta yondashuvni birlashtirib, murakkab ekologik tizimlar uchun eng mos variantlardan biri bo'lib chiqdi. Ular turli manbalardan kelgan ma'lumotlarni birlashtirish, nosozliklarni kamaytirish va prognozning barqarorligini oshirish imkonini beradi.

Natijalar yana shuni ko'rsatdiki, AI yordamida kuzatuv xarajatlari kamayadi. Qo'lda namuna olish va laboratoriya tahliliga nisbatan avtomatlashtirilgan tizimlar tezroq, arzonroq va keng qamrovli bo'lishi mumkin. Bu ayniqsa, ma'lumot yetishmaydigan yoki infratuzilmasi zaif hududlarda muhimdir. Raqamli sensorlar, masofaviy kuzatuv va bulutli hisoblash texnologiyalarining birikishi ekologik ma'lumotlarni markazlashgan va tezkor boshqarish imkonini beradi.

Shuningdek, AI tizimlari ekologik boshqaruvda ma'lum darajada standartlashtirish va avtomatlashtirishni ta'minlaydi. Bu esa boshqaruv qarorlarining sifatini oshirishi, favqulodda vaziyatlarga javob berish vaqtini qisqartirishi va atrof-muhitdagi o'zgarishlarga moslashishni tezlashtirishi mumkin.

Aniqlangan yana bir natija shuki, model tanlash jarayoni ekologik vazifaning turiga bevosita bog'liq. Agar maqsad tasvirlarni aniqlash bo'lsa, CNN afzal; vaqt qatorlari bo'lsa, RNN yoki gibrid yechimlar qulay; murakkab va izohlash talab etiladigan qarorlar kerak bo'lsa,

qarorlar daraxti foydali; aniqlik va murakkab chegara masalalarida esa SVM/SVR yaxshi natija beradi. Demak, universal model mavjud emas, balki vazifa va muhitga mos tizim kerak.

Ekologik monitoring uchun AI joriy etishning amaliy foydasi faqat texnik samarada emas. Bu jarayon ochiqlikni oshiradi, ekologik hisobotlarni yaxshilaydi, jamoatchilik nazoratini kuchaytiradi va tezkor ogohlantirish tizimlarini rivojlantiradi. Xususan, havo sifatini onlayn kuzatish, suv havzalari holatini baholash va ifloslanish manbalarini aniqlash kabi vazifalarda AI qaror qabul qilishni sezilarli darajada tezlashtiradi.

Shu bilan birga, natijalar ekologik monitoring tizimining barqarorligi nafaqat algoritimga, balki uni o'rab turgan ekotizimga ham bog'liq ekanini ko'rsatdi. Sensorlar, uzatish tarmoqlari, serverlar, ma'lumotlar omborlari va inson omili bir butun mexanizm sifatida ishlaganida, AI haqiqiy samaradorlik beradi. Amaliy joriy etish tavsiyalari Ekologik monitoring loyihalarida birinchi bosqich sifatida ma'lumotlar auditi o'tkazilishi kerak: qaysi manbadan qanday ma'lumot kelayotgani, ularning tozaligi, vaqt bo'yicha uzluksizligi va joylashuv aniqligi tekshiriladi. Keyingi bosqichda yagona ma'lumot platformasi yoki ma'lumotlar ombori yaratiladi, chunki tarqoq va mos kelmaydigan formatlar model sifatini pasaytiradi. So'ngra mos model tanlanib, u lokal sharoitlarda sinovdan o'tkaziladi. Model ishlab chiqarishga joriy etilgach, uning ishlashi doimiy monitoring qilinadi va yangi ma'lumotlar bilan qayta o'qitiladi. Bu jarayonni bosqichma-bosqich tashkil etish ekologik monitoringning ishonchliligini oshiradi va xatolarni kamaytiradi. Boshqaruv va siyosiy natijalar. Sun'iy intellektning ekologik monitoringga integratsiyasi davlat siyosati nuqtai nazaridan ham muhim natijalar beradi. U ekologik hisobotlarni shaffoflashtiradi, normativ ko'rsatkichlarni tezroq yangilash imkonini beradi va muammoli hududlarni erta aniqlashga yordam beradi. Mahalliy hokimiyat organlari va nazorat instansiyalari uchun bu tizimlar resurslarni aniqroq taqsimlashga, favqulodda holatlar bo'yicha tezkor qaror qabul qilishga va aholiga ochiq ma'lumot yetkazishga xizmat qiladi. Natijada ekologik boshqaruv nafaqat texnik, balki institutsional jihatdan ham kuchayadi.

Sun'iy intellekt asosidagi ekologik monitoring tizimlari qisqa muddatli kuzatuvdan tashqari, uzoq muddatli strategik rejalashtirish uchun ham katta imkoniyat beradi. Masalan, ko'p yillik ma'lumotlar asosida qurilgan modellar iqlim o'zgarishi, suv zaxiralarining kamayishi, tuproq degradatsiyasi va sanoat ifloslanishining sezilarli tendensiyalarini aniqlashi mumkin. Bunday yondashuvlar nafaqat muammolarni erta ko'rsatadi, balki resurslarni qayerga yo'naltirish kerakligini ham belgilab beradi. Natijada davlat organlari, ilmiy markazlar va ishlab chiqarish korxonalari ekologik xavflarni rejalashtirishga asoslangan tarzda boshqara oladi.

Kelajakda ekologik monitoring tizimlari yanada kengroq integratsiyalashgan arxitektura asosida ishlashi kutiladi: sensorlar, dronlar, sun'iy yo'ldosh tasvirlari, geoinformatsion tizimlar va avtomatlashtirilgan tahlil platformalari yagona raqamli ekotizimga birlashadi. Bunday tizimlarda mashinaviy o'rganish, chuqur o'rganish va oqim ma'lumotlarini real vaqt rejimida tahlil qilish usullari birgalikda ishlaydi. Bu esa nafaqat kuzatuv sifatini oshiradi, balki favqulodda vaziyatlarga javob berish tezligini ham keskin yaxshilaydi. Shu sababli ekologik monitoringning kelajagi sun'iy intellektni faqat hisoblash vositasi emas, balki atrof-muhitni muhofaza qilishning asosiy boshqaruv platformasi sifatida ko'rishni talab etadi.

Xulosa

Ekologik monitoringda sun'iy intellektidan foydalanish zamonaviy ilmiy-amaliy yondashuvlarning eng istiqbolli yo'nalishlaridan biridir. U atrof-muhit to'g'risidagi ma'lumotlarni tez, aniq va tizimli qayta ishlash imkonini beradi hamda ekologik boshqaruv qarorlarini yanada asosli qilishga yordam beradi. Shunga qaramay, AI yechimlari faqat imkoniyatlar majmuasi emas; ular ma'lumot sifati, hisoblash resurslari, izohlanish, xavfsizlik va energiya samaradorligi bilan bog'liq muammolarni ham keltirib chiqaradi.

Shu sababli ekologik monitoringda eng to'g'ri yondashuv – modelni vazifaga mos ravishda tanlash, ma'lumotlarni sifatli tayyorlash, qorovul va xavfsizlik mexanizmlarini kuchaytirish, shuningdek, energiya tejankor va ekologik barqaror tizimlarni ishlab chiqishdir. Qisqa qilib aytganda, sun'iy intellekt ekologik monitoringni kuchaytiradi, lekin u faqat mas'uliyatli boshqaruv va ilmiy asoslangan foydalanish sharoitida haqiqiy qiymatga ega bo'ladi.

Kelgusidagi tadqiqotlar AI modellarining izohlanishini oshirish, ularning ekologik izini kamaytirish va turli hududlar uchun moslashuvchan, ishonchli monitoring tizimlarini yaratishga qaratilishi lozim.

Umuman olganda, AI algoritmlarining ekologik monitoringdagi roli kelajakda yanada ortadi. Ular ilmiy kuzatuv, tezkor ogohlantirish, resurslarni boshqarish va atrof-muhitni muhofaza qilish tizimlarining ajralmas qismiga aylanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. The Fourth Industrial Revolution. What It Means and How to Respond. By Klaus Schwab. December 12, 2015. URL: <https://www.foreignaffairs.com/world/fourth-industrial-revolution> (дата звернення: 14.02.2025).
2. Hameed, M., Sharqi, S.S., Yaseen, Z.M., Afan, H.A., Hussain, A., Elshafie, A. Application of artificial intelligence (AI) techniques in water quality index prediction: a case study in tropical region, Malaysia. *Neural Comput. Appl.* 2017. № 28. S. 893–905. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00521-016-2404-7>.
3. Li, Y., Feng, Z., Chen, S., Zhao, Z., Wang, F. Application of the artificial neural network and support vector machines in forest fire prediction in the Guangxi autonomous region, China. *Discrete Dyn. Nat. Soc.* 2020. № 1. S. 1–14. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/5612650>.
4. Zagajewski, B., Kluczek, M., Raczko, E., Njegovec, A., Dabija, A., Kycko, M. Comparison of random forest, support vector machines, and neural networks for post-disaster forest species mapping of the krkonoše/karkonosze transboundary biosphere reserve. *Remote Sens.* 2021. № 13(13), 2581. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs13132581>.
5. Ye, Z., Yang, J., Zhong, N., Tu, X., Jia, J., Wang, J. Tackling environmental challenges in pollution controls using artificial intelligence: A review. *Sci. Total Environ.* 2020. № 699:134279. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134279>.
6. El-Magd, S.A.A., Soliman, G., Morsy, M., Kharbish, S. Environmental hazard assessment and monitoring for air pollution using machine learning and remote sensing. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 2022. № 20 (6), S. 6103–6116. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13762-022-04367-6>.
7. Zhang, H., Zhang, L., Wang, S., Zhang, L. Online water quality monitoring based on UV–Vis spectrometry and artificial neural networks in a river confluence near Sherfield-on-Loddon. *Environ. Monit. Assess.* 2022. № 194:630. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10118-4>.
8. Ghorbani, Z., Behzadan, A.H. Monitoring offshore oil pollution using multi-class convolutional neural networks. *Environ. Poll.* 2021. № 289:117884. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117884>.
9. Almalawi, A., Alsolami, F., Khan, A.I., Alkhathlan, A., Fahad, A., Irshad, K., Qaiyum, S., Alfakeeh, A.S. An IoT based system for magnify air pollution monitoring and prognosis using hybrid artificial intelligence technique. *Environ.* 2022. № 206:112576. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112576>.
10. Rowley, A., Karakus, O. Predicting air quality via multimodal AI and satellite imagery. *Remote Sens. Environ.* 2023. № 293:113609. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2023.113609>.
11. Baniecki H., Biecek, P. Adversarial attacks and defenses in explainable artificial intelligence: a survey. *Information Fusion.* 2024. № 107(5):102303. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2024.102303>.

12. Sarker, I.H. AI-based modeling: techniques, applications and research issues towards automation, intelligent and smart systems. *SN Computer Science*. 2020. № 3:158. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42979-022-01043-x>.
13. Kernbach, J.M., Staartjes, V.E. (2022). Foundations of machine learning-based clinical prediction modeling: part II—Generalization and overfitting. In: Staartjes, V.E., Regli, L., Serra, C. (eds). *Machine Learning in Clinical Neuroscience: Acta Neurochirurgica Supplement*. 2022. № 134. S. 15–21. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-85292-4_3.
14. Ryo, M., Angelov, B., Mammola, S., Kass, J.M., Benito, B.M., Hartig, F. Explainable artificial intelligence enhances the ecological interpretability of blackbox species distribution models. *Ecography*. 2020. № 44 (2). S. 199–205. DOI: <https://doi.org/10.1111/ecog.05360>.
15. Bloomfield, P., Clutton-Brock, P., Pencheon, E., Magnusson, J., Karpathakis, K. Artificial Intelligence in the NHS: Climate and Emissions. *J. Clim. Change Health*. 2021. № 4:100056. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.joclim.2021.100056>.